

EXEMPLE DE RENDU

Faisabilité photovoltaïque en toiture

Relevé et pré-dimensionnement d'un bâtiment d'activités : pans, chéneaux, obstacles, règles de sécurité, calepinage, ombrage, productible, économie.

Bâtiment d'activités en bac acier, France métropolitaine

Étude conduite sur un relevé 3D par drone (photogrammétrie : nuage de points et orthophotographie) de février 2024

Exemple anonymisé et non contractuel : ni lieu ni maître d'ouvrage, coordonnées ramenées dans un repère local, abords masqués. Économie en ordre de grandeur, sur ratios publics.

90

obstacles relevés en toiture

354 kWc

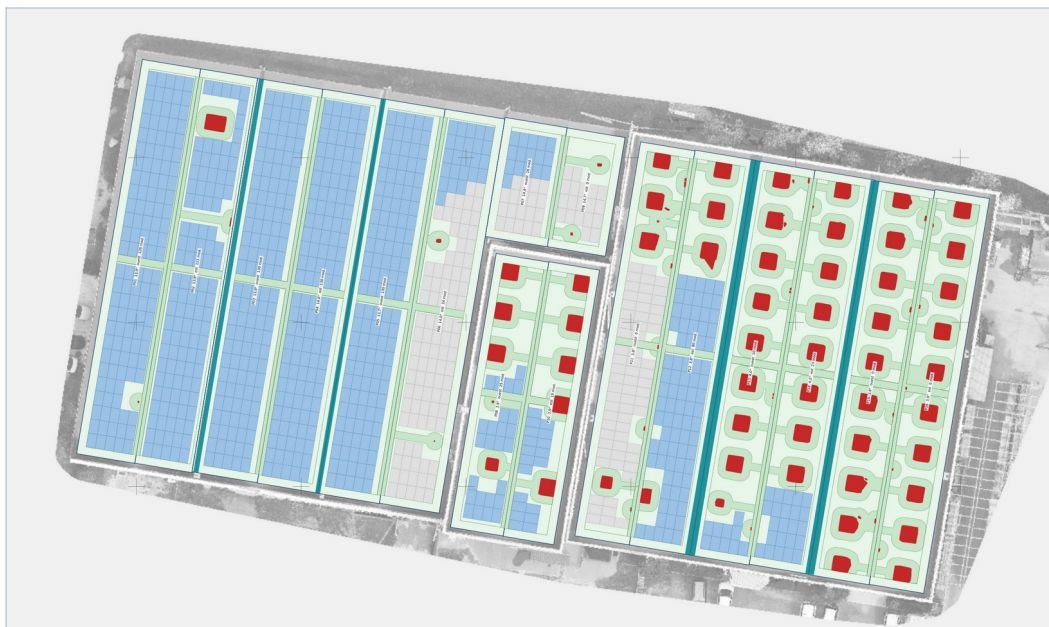
824 modules retenus

400 MWh

par an, ombrage compris

28,6 %

de la toiture couverte



Extrait du plan de calepinage : champs, cheminements de 0,90 m, chéneaux, obstacles.

1. Ce que montre cet exemple, et ce qu'il conclut

Ce dossier montre ce que DRONNIT remet au propriétaire d'un bâtiment d'activités qui veut savoir ce que sa toiture peut porter en photovoltaïque. C'est un relevé et un pré-dimensionnement technique : la toiture est mesurée pan par pan, chéneau par chéneau, obstacle par obstacle, et le calepinage respecte les règles de sécurité incendie. Il prépare l'étude technico-économique, il ne la remplace pas.

Synthèse

- Toiture mesurée : 16 pans de 3,8 à 14,7°, tournés à l'est et à l'ouest, 4 chéneaux, 90 obstacles dont 54 lanterneaux.
- Calepinage constructible, règles de sécurité appliquées : 1019 modules, 438 kWc, 35,4 % de la toiture.
- Variante retenue, modules à plus de 15 % de perte d'ombrage écartés : 354 kWc, 400 MWh/an, 28,6 % de la toiture.
- Obligation de solarisation, jugée sur le calepinage constructible (l'ombrage n'étant pas un motif d'exemption) : 35,4 %, donc 30 % atteints, 40 % et 50 % non atteints si les lanterneaux sont des exutoires ; 40,0 % s'ils sont de simples éclairants, donc 40 % tout juste atteints, sans marge, 50 % non. La fonction des lanterneaux est le point à instruire en premier.
- Avant engagement : diagnostic de la charpente, état de la couverture et repérage de l'amiante, fonction des lanterneaux (désenfumage ou éclairage), statut du bâtiment au regard des installations classées.

Livrables remis : plan de calepinage au 1/200 (PDF A1), fichier DAO (DXF à calques), GeoPackage, bilan par pan (CSV) et la présente note.

2. Cadre réglementaire

Texte	Ce qu'il impose	Pour ce bâtiment
Code de la construction et de l'habitation, article L. 171-4, version issue de la loi n° 2026-403 du 26 mai 2026	À la construction, à l'extension ou à la rénovation lourde d'un bâtiment d'activités, d'un entrepôt ou de bureaux de plus de 500 m ² d'emprise au sol : procédé d'énergie renouvelable ou végétalisation sur 30 % au moins de la toiture, 40 % depuis le 1er juillet 2026, 50 % au 1er juillet 2027.	Obligation déclenchée par une extension ou une rénovation lourde de la charpente.
Même code, article L. 171-5 (article 43 de la loi APER)	Bâtiments non résidentiels existants d'au moins 500 m ² d'emprise au sol : obligation à compter du 1er janvier 2028, sur une surface de toiture fixée par décret.	Concerné en 2028 ; décret d'application attendu au 8 octobre 2026.
Articles R. 171-36 à R. 171-42 du même code ; arrêté du 19 décembre 2023	Exemption pour contrainte technique (pérennité des ouvrages, installations techniques en toiture), de sécurité (avis défavorable ou conditionnel de l'autorité de sécurité) ou économique (surcoût rapporté au coût des travaux, coût actualisé de l'énergie sur 20 ans). Le volet économique exige deux devis et une étude technico-économique de moins de six mois, réalisée par une entreprise qualifiée ou titulaire d'un signe « RGE Études ».	La présente note fournit les données techniques d'entrée de cette étude, pas l'étude elle-même.

Assiette du taux de couverture. Les textes ne définissent pas la « surface de toiture ». Le taux est donc calculé sur la convention la plus défavorable des deux mesurées : l'emprise au sol (5 541 m²) ou la surface développée de toute la couverture, rives et ressauts compris (5 619 m²). Ici, la seconde, soit 5 619 m². Le numérateur est la surface des modules, hors cheminements.

Ce que dit la mesure, sans complaisance

- Calepinage constructible : 35,4 % de la toiture ; variante retenue, modules trop ombragés et îlots de moins de 5 modules écartés : 28,6 %. La conformité se juge sur le calepinage constructible : 30 % atteints, 40 % et 50 % non.
- L'ombrage n'est pas un motif d'exemption en toiture : un pan ombragé ne peut être écarté que par la voie économique, qui demande un chiffrage.
- Les 54 lanterneaux pèsent le plus : avec un dégagement de 0,90 m et un accès à chacun, ils consomment une large part des halls à faible pente. S'ils ne servent pas au désenfumage, un dégagement de 0,50 m sans accès porte le calepinage à 1151 modules, 495 kWc, environ 527 MWh/an et 40,0 % : 40 % tout juste atteints, sans marge, 50 % non.

- Si les lanterneaux sont des exutoires, la situation peut relever d'une demande d'exemption pour contrainte de sécurité ou technique (articles R. 171-39 et R. 171-42), argumentée par un architecte. L'avis CCS de 2013 n'étant pas opposable à un bâtiment du code du travail, l'exemption de sécurité suppose l'avis du SDIS ou du contrôleur technique.

3. Pans, chéneaux et obstacles mesurés

Le modèle numérique de surface, tiré du nuage de points au pas de 10 cm, est découpé selon l'orientation de la pente ; un plan est ajusté sur chaque pan en écartant pas à pas les points qui s'en éloignent. Les chéneaux sont mesurés en travers de chaque noue sur l'orthophotographie, tous les mètres. Les obstacles sont relevés de deux façons : tout relief de plus de 12 cm au-dessus du plan, et tout élément clair sur la couverture (sorties de ventilation, naissances).

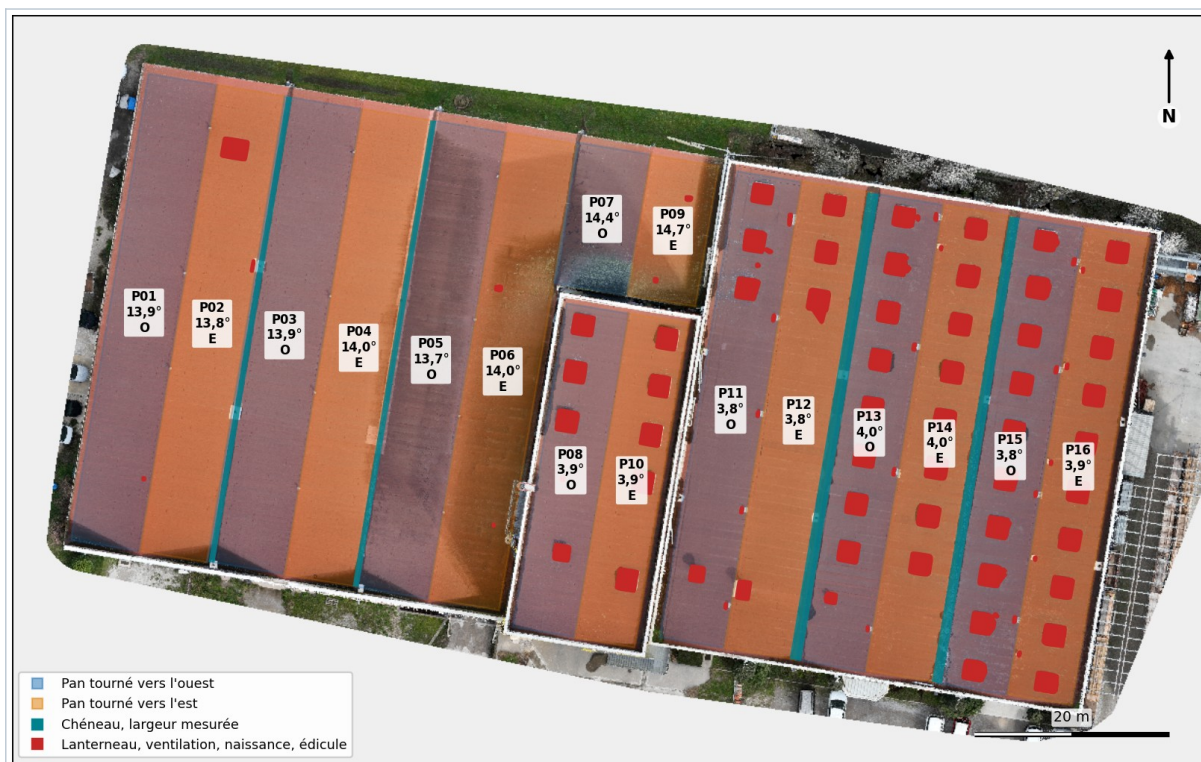


Figure 1. Pans de toiture, chéneaux et obstacles relevés. Les abords sont masqués.

Chéneaux : P02/P03 0,60 m, P04/P05 0,60 m (valeur par défaut, mesure insuffisante), P12/P13 1,20 m, P14/P15 1,05 m. Ils restent visitables : les modules s'arrêtent à 0,50 m de leur bord. Dépôts et eau stagnante sont visibles dans ceux des pans à 3,8°, point de couverture à lever (section 7).

Contrôle croisé : dans la noue P02/P03, le modèle 3D portait un relief de 57 cm sur 51 m². Le cliché d'origine pris à la verticale montre à cet endroit le chéneau humide et deux naissances, sans aucun objet : c'est un défaut de reconstruction sur une surface sombre et mouillée. Il est corrigé dans le modèle.

4. Règles de calepinage et sécurité incendie

Le bâtiment est traité comme un bâtiment d'activités relevant du code du travail. Faute de règle nationale propre à ce cas, le calepinage applique l'avis de la Commission centrale de sécurité du 7 février 2013, écrit pour les établissements recevant du public et repris par les assureurs (référentiel APSAD D20). Les règles du service départemental d'incendie et de secours sont à confirmer au dépôt.

Règle	Valeur	Source
Périphérie de la toiture libre de tout module	1,00 m	CCS 2013, § 3.1.1 (0,90 m)
Faîtages : les pans de part et d'autre sont deux champs	0,90 m entre eux	CCS 2013, § 3.1.4 (séparation des champs)
Champ de modules	30 m et 300 m ² au plus, séparés de 0,90 m	CCS 2013, § 3.1.4 ; APSAD D20
Autour des lanterneaux, ventilations, édicules	0,90 m, avec un accès de 0,90 m	CCS 2013, § 3.1.2 ; APSAD D20
Bord des chéneaux	0,50 m	entretien, naissances, trop-pleins

- **Statut au regard des installations classées** : le bâtiment n'est pas recensé dans la base publique des installations classées (Géorisques, octobre 2026) ; son statut est à confirmer avec l'exploitant. S'il l'était, s'appliqueraient la section V de l'arrêté du 4 octobre 2010 (autorisation) ou l'annexe I de l'arrêté du 5 février 2020 (enregistrement, déclaration) : panneaux Broof t3, 1 m autour des dispositifs de sécurité, cheminement de 1 m, rien à moins de 5 m des parois coupe-feu.
- **Équipements de sécurité à prévoir** (CCS 2013) : coupure du courant continu au plus près des modules, ou câbles en extérieur, ou cheminement EI 30 ; onduleurs dans un local REI 60 à portes EI 30, ou en extérieur ; signalétique à l'accès des secours et sur les cheminements.
- **Réaction au feu** : procédé et câbles à justifier par l'évaluation technique du procédé retenu.

5. Calepinage et variantes

Modules de référence JinkoSolar Tiger Neo JKM430N-54HL4-(V), 1 722 × 1 134 mm, 430 Wc, rendement 22,02 % (fiche du fabricant ; puissance à actualiser au moment du projet, le même format dépasse aujourd'hui 440 Wc), surimposés parallèlement au bac acier. Sur chaque pan et dans chaque champ, la pose et le calage de la grille sont ceux qui logent le plus de modules.

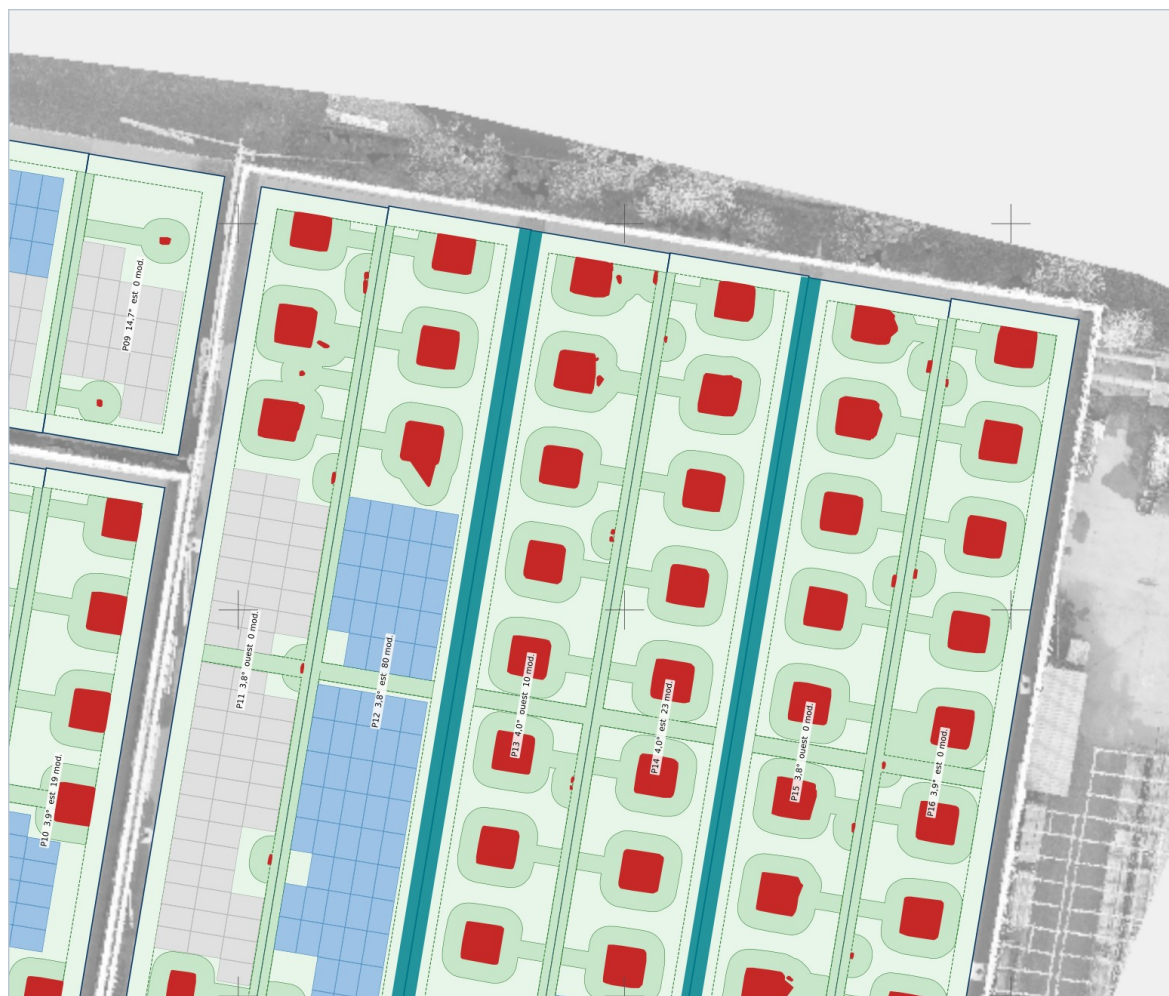


Figure 2. Détail du plan au 1/200 : champs, cheminements, dégagements des lanterneaux, modules écartés.

Pan	Incl.	Orientation	Obst.	Champs	Posables	Retenus	Ombrage	kWh/kWc	MWh/an
P01	13,9°	ouest (279°)	1	2	126	126	0,5 %	1 140	61,8
P02	13,8°	est (100°)	2	2	111	111	2,6 %	1 176	56,1
P03	13,9°	ouest (279°)	0	2	130	130	1,4 %	1 130	63,2
P04	14,0°	est (100°)	0	2	130	130	6,7 %	1 125	62,9
P05	13,7°	ouest (279°)	0	2	130	130	6,5 %	1 072	59,9
P06	14,0°	est (100°)	2	2	116	24	9,0 %	1 098	11,3
P07	14,4°	ouest (280°)	0	1	35	16	9,3 %	1 035	7,1
P08	3,9°	ouest (279°)	5	2	25	25	0,2 %	1 180	12,7
P09	14,7°	est (98°)	2	1	19	0			
P10	3,9°	est (100°)	5	2	19	19	0,0 %	1 199	9,8
P11	3,8°	ouest (279°)	12	2	65	0			
P12	3,8°	est (100°)	4	2	80	80	7,6 %	1 108	38,1
P13	4,0°	ouest (278°)	17	2	10	10	2,7 %	1 151	4,9
P14	4,0°	est (100°)	9	2	23	23	0,9 %	1 189	11,8
P15	3,8°	ouest (279°)	16	2	0	0			
P16	3,9°	est (100°)	15	2	0	0			
Retenu			45	23	935	824	4,0 %	1 128	399,7
Constructible			90	30	1019		9,6 %	1 065	466,6

Variante	Modules	kWc	kVA (1)	Toiture	MWh/an	kWh/kWc/an
Constructible, tous les modules posables	1019	438,2	365	35,4 %	466,6	1 065
Retenue, modules à plus de 15 % d'ombrage écartés	824	354,3	295	28,6 %	399,7	1 128
Sensibilité : lanterneaux simples éclairants	1151	494,9	412	40,0 %	527,0 (1)	

Ligne « Retenu » : pans portant des modules retenus, valeurs de la variante retenue ; ligne « Constructible » : tous les pans, tous les modules posables. Les îlots de moins de 5 modules sont écartés : 39 modules du calepinage posable, puis 3 de la variante retenue. kVA : puissance des onduleurs pour un rapport de 1,2. (1) Estimation au productible moyen du calepinage constructible.

6. Ombrage et productible

Pour chaque heure de l'année météorologique type où le soleil éclaire, six rayons partent de chaque module vers le soleil, deux par sous-chaîne de cellules, au travers du modèle 3D du bâtiment et de ses abords ; le diffus est réduit de la part de ciel masquée. La perte électrique tient compte des diodes de dérivation : une sous-chaîne ombrée est soit court-circuitée, soit elle bride le module. Elle vaut en moyenne 9,5 % sur le calepinage constructible, pour 9,2 % de perte d'éclairement. Les modules à plus de 15 % sont écartés un à un : au-delà, un module produit moins de 85 % du productible du pan, et la chaîne qui le porte en pâtit. Sur les rangs conservés en bordure d'ombre, des optimiseurs se justifient.

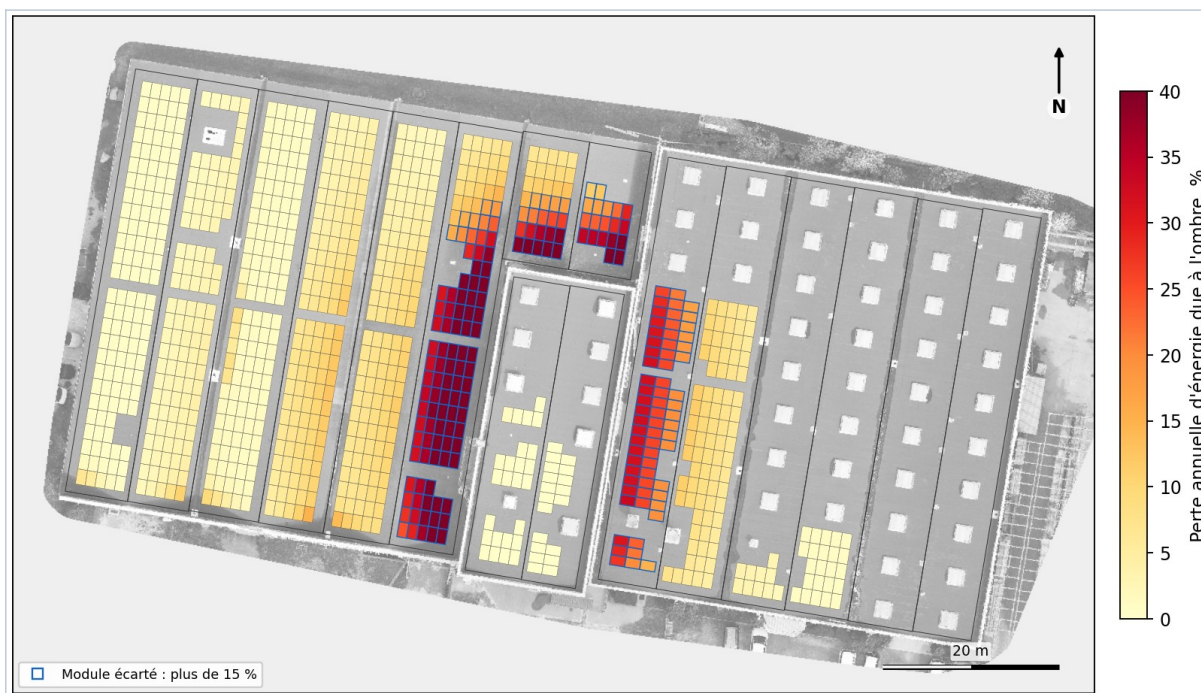


Figure 3. Perte annuelle d'énergie due à l'ombre, module par module, sur le calepinage constructible. Le corps de bâtiment central, plus haut d'environ 10 m, ombrage les pans qui le bordent.

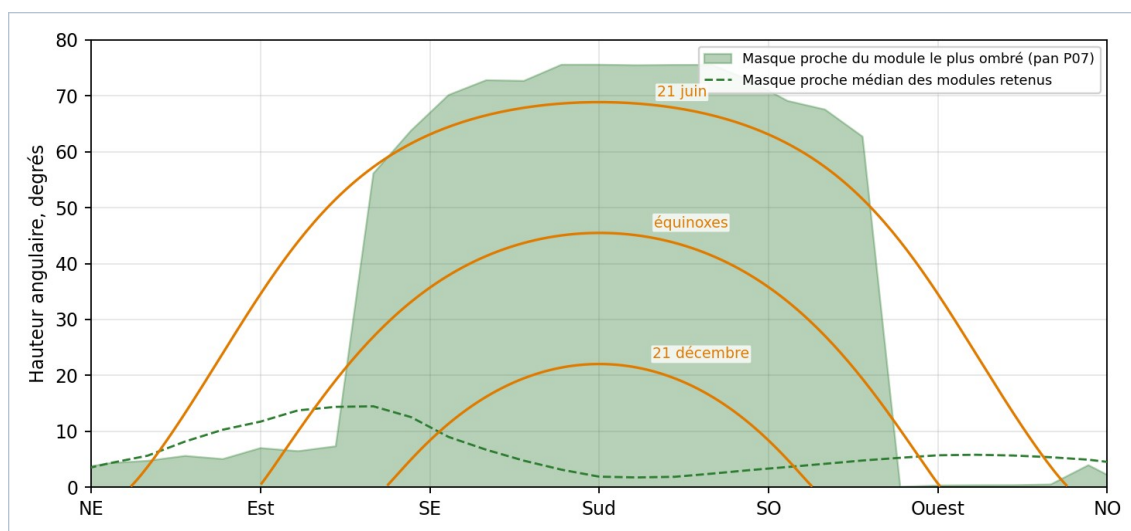


Figure 4. Diagramme solaire et masques proches tirés du modèle 3D.

Productible de référence : PVGIS 5.3 (Commission européenne, base PVGIS-SARAH3, 2005 à 2023), par pan, avec son inclinaison et son orientation. Une pose surimposée sur bac acier est ventilée sans l'être autant qu'un châssis libre : la valeur retenue est la moyenne des deux modes de pose de PVGIS (par exemple 1 128 et 1 165 kWh/kWc pour P01), soit une fourchette de 393 à 406 MWh/an sur la variante retenue.

- **Pertes système de 14 %** (valeur de PVGIS) : câbles, onduleur, dispersion des modules, et environ 5 % de vieillissement moyen sur 20 ans (0,5 % par an). Le productible est donc une moyenne sur 20 ans ; la première année produit environ 5 % de plus.
- **Non comptés** : salissure et neige (PVGIS ne les traite pas), gain de la face arrière, indisponibilités. Le diffus est isotrope, le circumsolaire n'est pas réduit par les masques.
- **Contrôle sur une seconde base** : sur le pan P03, PVGIS-ERA5 donne 1 127 kWh/kWc contre 1 146 avec SARAH3, soit -1,7 %.
- **Masque lointain** : celui de PVGIS, calculé sur un modèle de terrain à large maille, sans les bâtiments au-delà du relevé.

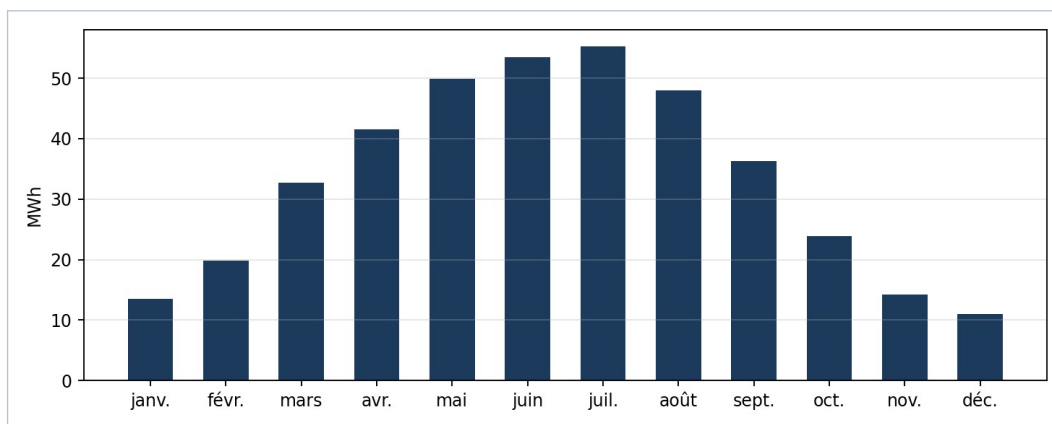


Figure 5. Production mensuelle de la variante retenue.

7. Structure, couverture et amiante

Ce que la faisabilité vérifie, et ce qui reste au diagnostic de structure.

Point	Constat du relevé	À établir avant engagement
Charge ajoutée	Modules seuls 11,3 kg/m ² ; système complet, modules et rails sur bac, de l'ordre de 15 à 20 kg/m ²	Note de calcul de la charpente sous neige et vent (Eurocodes, ou règles NV65 pour une charpente ancienne)
Pentes	Halls à 3,8° (6,6 %) et à 14° environ, mesurées pan par pan	Compatibilité du procédé de fixation avec la pente et le profil du bac
Couverture	Dépôts et eau stagnante dans les chéneaux des halls à faible pente ; bac teinté sans corrosion visible à 2 cm	Inspection de l'étanchéité, des fixations et des naissances
Amiante	Non déterminable par le relevé	Repérage avant travaux si le bâtiment est antérieur à 1997
Assurabilité		Procédé sous Avis technique, ATEX ou évaluation technique nationale

Pièces à réunir : dossier des ouvrages exécutés, notes de calcul de la charpente, âge et nature de la couverture, rapport amiante. Une charpente qui ne porte pas la surcharge est elle-même un motif d'exemption (article R. 171-38).

8. Accès et maintenance

- **Accès en toiture** : aucun accès permanent (échelle à crinoline, trappe) n'est visible sur le relevé ; à confirmer sur place, et à créer sinon.
- **Chutes à travers les éclairants** : les 54 lanterneaux demandent une protection à demeure (grille en sous-face ou garde-corps), et les cheminements une ligne de vie.
- **Corps haut** : son acrotère borde les pans ombragés ; aucun module n'y est prévu.
- **Onduleurs et coupure** : en pied de façade côté accès des secours, ou dans un local REI 60.
- **Maintenance** : les cheminements de 0,90 m et les chéneaux dégagés servent aussi au nettoyage et à l'entretien des naissances.

9. Raccordement et régime de soutien

Variante	kWc	kVA	Régime de soutien	Raccordement
Constructible	438	365	appel d'offres simplifié de 100 à 500 kWc	HTA et poste de livraison (au-delà de 250 kVA)
Retenue	354	295	appel d'offres simplifié de 100 à 500 kWc	HTA et poste de livraison (au-delà de 250 kVA)

- Depuis le 22 septembre 2025, le tarif d'achat en guichet ouvert ne couvre plus que 100 kWc au plus ; entre 100 et 500 kWc s'applique l'appel d'offres simplifié de la CRE, au-delà l'appel d'offres « bâtiment » (photovoltaïque.info, juin 2026). Toutes les variantes restent sous 500 kWc.
- Au-delà de 250 kVA, l'installation se raccorde en haute tension et participe à la quote-part du schéma régional de raccordement. Un plafond à 250 kVA, soit 300 kWc environ, permettrait de rester en basse tension.
- La capacité d'accueil du poste source se vérifie sur Caparéseau au moment de la demande.
- Autoconsommation : la courbe de charge du site au pas de 10 ou 30 minutes et la puissance souscrite permettent de dimensionner une part autoconsommée.

10. Contraintes du site

Thème	Constat	Conséquence pour le projet
Urbanisme	Zone d'activités. Le règlement admet les panneaux solaires en toiture, sous réserve d'une implantation soignée.	Pose dans le plan des pans : conforme. Déclaration préalable (code de l'urbanisme, art. R. 421-17).
Patrimoine	Aucune servitude de protection patrimoniale dans un rayon de 500 m.	Pas d'avis de l'architecte des Bâtiments de France.
Risques naturels	Aléas à vérifier au dépôt (Géorisques) : inondation, retrait-gonflement des argiles, sismicité.	Sans effet sur la pose en toiture ; locaux électriques hors d'eau ; fixations selon la zone sismique.
Risques technologiques	Aucune installation classée à moins de 300 m, aucun plan de prévention des risques technologiques.	Aucune.
Servitudes	Servitude aéronautique à vérifier ; ligne électrique à distance.	Pose coplanaire retenue, qui limite les consultations de l'aviation civile.

11. Économie, en ordre de grandeur

Ratios publics, en fourchette. L'investissement comprend la quote-part de raccordement et le poste de livraison en haute tension ; il exclut le renforcement de charpente, la réfection de couverture et le désamiantage. Le productible de PVGIS intègre le vieillissement moyen sur 20 ans : aucune dégradation n'est ajoutée. La fourchette d'investissement va des prix constatés en 2023 pour 100 à 500 kWc (0,8 €/Wc, photovoltaïque.info) aux 1 150 €/kWc déclarés en 2024 et 2025 par les lauréats de l'appel d'offres « bâtiment » (CRE, rapport n° 2026-01).

Poste	Retenue, 354 kWc	Constructible, 438 kWc	Source
Centrale, €/Wc	0,80 à 1,15	0,80 à 1,15	photovoltaïque.info (prix constatés en 2023) et CRE, rapport n° 2026-01 (1 150 €/kWc, 2024-2025)
Centrale	283 k€ à 407 k€	351 k€ à 504 k€	
Quote-part de raccordement	12 k€ à 25 k€	15 k€ à 31 k€	photovoltaïque.info, quote-part S3REnR, carte au 01/02/2026, avant refaction
Poste de livraison	50 k€ au moins	50 k€ au moins	Énergie Partagée, guide ombrières photovoltaïques, juin 2021 (transformateur HTA : 50 000 € au moins)
Investissement	346 k€ à 483 k€	416 k€ à 585 k€	
Exploitation, par an	9 k€ à 11 k€	11 k€ à 13 k€	CRE 2026-01 (20 à 25 €/kWc), IFER, comptage
Coût actualisé de l'énergie, 20 ans à 3 %	81 à 108 €/MWh	83 à 113 €/MWh	arrêté du 19/12/2023, art. 4
Recette en vente totale, par an	35 k€	41 k€	CRE, délibération n° 2025-237 du 29/10/2025 (appel d'offres simplifié 100 à 500 kWc)
Temps de retour simple, vente totale	13 à 20 ans	14 à 21 ans	
Temps de retour simple, tout autoconsommé	6 à 12 ans	7 à 13 ans	SDES 2025 (moyenne 148,8 €/MWh vérifiée ; 124 à 161 par tranche, non vérifié)

Pré-test indicatif de l'exemption économique

- Critère de l'article 4 de l'arrêté du 19 décembre 2023 : coût actualisé de l'énergie sur 20 ans à 3 %, raccordement compris, supérieur à 1,2 fois le tarif de référence (88,73 €/MWh, prix moyen pondéré de l'appel d'offres simplifié), soit 106 €/MWh.
- Jugé sur le calepinage constructible, comme la conformité : 83 à 113 €/MWh. Variante retenue : 81 à 108 €/MWh. Critère à portée selon le coût réel, à trancher sur devis : le seuil est dépassé en haut de fourchette, et chaque tranche de 50 k€ d'investissement ajoute 7,2 €/MWh (renforcement de charpente, désamiantage, raccordement).
- Critère de l'article 2 : surcoût diminué des recettes actualisées, rapporté au coût total des travaux du bâtiment. Ce coût n'est pas connu de l'étude : critère non évalué.
- Le dossier d'exemption est établi par une entreprise qualifiée au sens de l'arrêté du 19 décembre 2023 (art. 5), sur deux devis réels. Ce pré-test n'en tient pas lieu.

12. Données à fournir, limites et livrables

- **À fournir par le client** : dossier des ouvrages exécutés et notes de calcul, date de construction et rapport amiante, fonction des lanternes, statut du bâtiment, coût prévu des travaux du bâtiment, courbe de charge et puissance souscrite.
- **Données** : relevé 3D par drone (photogrammétrie : nuage de points et orthophotographie) ; nuage ramené à une maille de 8 cm, classé sol et sursol ; modèles au pas de 10 cm ; orthophotographie à 5 cm tirée du même nuage.
- **Outils** : chaîne libre et documentée (PDAL, pvlb, Shapely, ezdxf, GeoPackage), PVGIS 5.3.
- **Limites** : désadaptation entre modules d'une même chaîne non modélisée ; structure, étanchéité et raccordement à confirmer par les études nommées plus haut ; économie sur ratios publics, à remplacer par des devis.

Livrable	Contenu
Plan de calepinage, PDF A1 au 1/200	Pans, chéneaux, périphérie, champs, cheminements, obstacles, modules retenus et écartés, légende, bilan, cartouche
Plan de calepinage, DXF	Calques PANS, CHÉNEAUX, RETRAITS, CHEMINEMENTS, CHAMPS, OBSTACLES, MODULES, MODULES_ECARTÉS, COTES, TEXTES, CARTOUCHE
GeoPackage, repère local	Pans, chéneaux, périphérie, champs, cheminements, obstacles, modules (perte d'éclairement et perte électrique, retenu)
Bilan par pan, CSV	Inclinaison, orientation, obstacles, champs, modules, kWc, ombrage, productible